

快速指纹方向估计及校正方法

徐东霞¹, 陈为民²

(1 昆明大学 电机系, 云南 昆明 650118; 2 重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 对目前基于 Sobel 算子的指纹区域的方向估计进行了优化和改进, 并提出了一种全新的投票加权的指纹方向校正方法, 利用 Poincare 方法求奇异点时的部分结果校正错误的方向, 在提高了算法速度的同时也获得了准确的指纹方向图, 指纹图像增强的结果显示了本算法的优越性, 具有很强的实用价值。

关键词: 指纹图像; 方向估计; 指纹增强; 奇异点; 指纹识别系统

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2005)04-0048-03

Improved Algorithm of Orientation Estimation and Correction in Fingerprint Image

XU Dong-xia¹, CHEN Wei-min²

(1. Department of Electrical and Mechanical Engineering, Kunming University, Kunming 650118, China)

2. Key Laboratory of Optoelectronic Technology of State Education Ministry, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract Optimization and improvements are made on the existing orientation estimation of fingerprint area based on the Sobel operator. A new voting weighted method for the correction of error direction is then put forward. When Poincare is adopted for singular point value, accuracy and speed of the algorithm are acquired at the same time. It is proved through the enhancement of fingerprint images that this algorithm is advantageous with practical value.

Key words fingerprint image; orientation estimation; orientation correction; singular point; fingerprint identification system

0 引言

生物识别技术近年来被广为关注, 与其它生物识别技术相比, 指纹识别在唯一性、稳定性、识别精度、防伪性能等方面均有优势。因此指纹识别成为了最为广泛运用的生物识别技术^[1, 2]。目前, 指纹图像属于典型低质量图像, 因此指纹图像增强是必不可少的, 指纹图像增强的方法有很多种^[3-5], 绝大多数必须利用指纹纹线的方向信息, 指纹纹线的方向一般由指纹的梯度信息获得, 文献^[3, 4]中所采用的基于 Sobel 算子的指纹区域的方向估计是目前最常用的算法, 有一定的抗干扰能力, 但是理论上分析, 该算法是冗余的, 而且数据量太大, 如果要应用在实际的产品开发中, 如单片机或者嵌入式操作系统 (如 DSP), 将会消耗很多资源, 降低系统的速度和效率。因此对于小型的系统而言, 进一步优化算法是非常重要的。

另一方面, 由于图像噪声以及其它一些因素的影响, 梯度信息所获得的方向图并不完全准确 (如图 1 所示), 所以指纹方向图平滑同样是必须的, 目前最常用的方向平滑是基于矢量叠加的方法, 见文献^[3, 4]。该方法具有很好的低通特性, 可以任意选择平滑的尺度, 很适合在

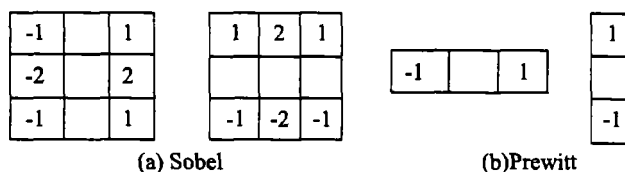


图1 Sobel算子和简化的Prewitt算子
Fig.1 Sobel and simplified Prewitt operators

收稿日期: 2005-03-16 基金项目: 重庆市科技攻关重点项目 (CSTC. 2004AA 2001-8277-02).

第一作者简介: 徐东霞 (1965~), 女, 讲师, 硕士. 主要研究方向: 模式识别.

PC机上实现. 然而该方法有大量的三角函数和反三角函数计算, 对于单片机和 DSP而言, 编写这些函数或者为其建表查表都很困难, 非常影响执行效率. 我们将介绍一种实用的指纹方向估计以及校正方法, 特别适合于专用的微型独立的系统.

1 算法实现

1.1 方向计算

指纹方向图的算法有很多种, 有根据纹线最小宽度计算方向, 有根据模板卷积的方法, 但最常用的是根据最小二乘法原理拟合灰度梯度 Sobel算子在 X, Y 方向的变化, 然后通过反三角函数得到指纹区域的方向, 该算法的准确性较好, 但是计算复杂程度太高, 我们所采用的是简化后的单排 Prewitt算子, 其运算速度为原来的 3 倍, 而效果并没有明显下降. 加上随后的区域间的方向平滑, 该算法的实际效果与用 Sobel算子计算出来的效果完全一致. 将图像分成 $W \times W$ 的小块, 其中 W 为各图像块的边长, 与图像分辨率等因素有关.

计算公式如下:

$$d_x(i, j) = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 p_x(u+1, v+1)G(i+u, j+v) \quad (1)$$

$$d_y(i, j) = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 p_y(u+1, v+1)G(i+u, j+v) \quad (2)$$

其中 p_x 和 p_y 为 Prewitt 水平方向和垂直方向算子.

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} (d_x^2(u, v) - d_y^2(u, v)) \quad (3)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2d_x(u, v)d_y(u, v) \quad (4)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)}\right) \quad (5)$$

其中 $\theta(i, j)$ 为指纹的梯度方向, 再加上 $\pi/2$ 后即为纹线方向. 当所有 $d_x(i, j)$ 或 $d_y(i, j)$ 均为零时, 该区域显然是无效区域, 不再参与以后的任何计算.

1.2 方向校正

由于图像噪声以及其它一些因素的影响, 求出的方向图并不完全准确, 与一般的方向平滑的方法^[4]不同, 我们所采用的是投票加权的方法, 由于指纹纹线的走向是连续变化的, 邻近区域的方向不应该有突然的大角度转折, 因此我们设计了一种全新的方法, 一边用 Poincare方法求奇异点^[6,7], 一边剔除错误的方向, 它利用了 Poincare方法差分的绝对值和得到某一区域方向与相邻区域方向的总差, 从而判断出该区域方向是否属于错误方向. 如果总差大于某阈值, 属于错误方向, 然后由临近方向中的最接近的几个方向的平均值替代. 与文献^[4,8]中对子方向不加区别的平滑运算相比, 该方法避免了对大部分正确方向的冗余平滑计算, 且能够阻断错误方向对正确方向的影响^[9]. 更重要的是, 它避免了三角和反三角函数计算. 在完成方向矫正的同时也完成了对奇异点的搜索. 奇异点搜索公式 (6) (7) 如下:

$$\text{poincare}(i, j) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=0}^{n-1} \Delta(k) \quad (6)$$

$$\Delta(k) = \begin{cases} \phi(k), & |\phi(k)| \leq \pi/2 \\ \phi(k) - \text{sign}(\phi(k))\pi, & |\phi(k)| > \pi/2 \end{cases}$$

$$\phi(k) = \theta(x(k'), y(k')) - \theta(x(k), y(k))$$

$$k' = (k+1) \bmod N$$

$\theta(i, j)$ 指纹的场方向. $x(k)$ 和 $y(k)$ 被判断区域最临近一圈的场的方向, 以下为方向矫正的算法公式:

$$\text{var}(i, j) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=0}^{n-1} |\Delta(k)| \quad (7)$$

$$H(\varphi) = \sum_{i=i-1}^{i+1} \sum_{j=j-1}^{j+1} \delta(\varphi - \theta(i', j'))$$

$$\theta_c(i, j) = \begin{cases} \theta(i, j), & \text{var}(i, j) < Th \\ \varphi_{Avg}, & \text{Sum}(\varphi_{Avg}) = \text{Max}(\sum_{\varphi=-\pi/12}^{\pi/12} H(\varphi)) \end{cases}$$

其中, $\text{var}(i, j)$ 是区域 (i, j) 的相邻区域方向的总差, $\delta(\varphi - \theta(i', j'))$ 为冲击响应函数, $H(\varphi)$ 投票产生的直方图数组 $\theta_c(i, j)$ 为区域 (i, j) 的最后矫正方向, $\text{Sum}(\varphi_{Avg})$ 为 $\pi/6$ 角度内投票最多数, 其对应的中心角度 φ_{Avg} 即为矫正后的区域角度。

2 试验结果

我们在 Pentium 4-20G, 256M 内存的 PC 机上, 用 20 幅 FPS200 半导体指纹图像传感器采集到的 $256 \times 300 \times 500 \text{ dp}$ 指纹图像进行模拟试验, 平均速度提高接近 4 倍。加上避免了三角反三角函数的计算, 所以在 DSP 等

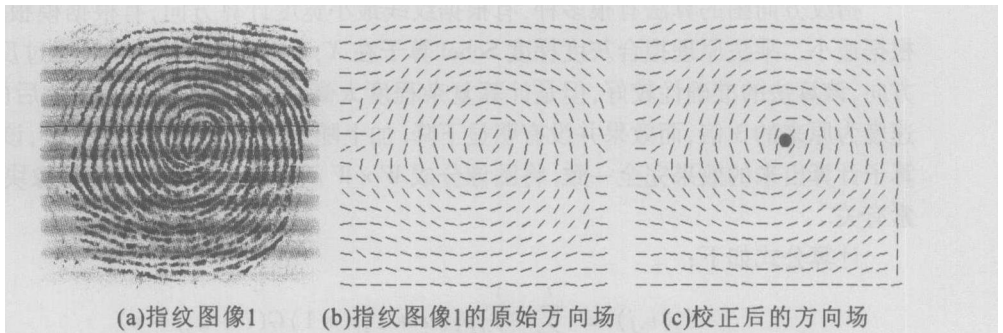


图2 方向估计及校正
Fig.2 Orientation estimation and the correction



图3 方向滤波后的二值化图像
Fig.3 Binary images after the enhancement

微型系统中差别将会更大。图 2 中显示了一幅指纹图像的方向估计以及校正, 校正后同时搜索到了一个双核点。图 3 显示该指纹图像增强后直接二值化的图像, 以及另一指纹图像的增强对比结果。

3 结论

本文主要针对实用的微型指纹识别系统, 就目前基于 Sobel 算子的指纹区域的方向估计进行了优化和改进, 并提出了一种全新的指纹方向校正方法, 利用 Poicare 方法求奇异点时的部分结果校正错误的方向, 在提高了算法速度的同时也获得了准确的指纹方向估计, 该算法运用于我们自行开发的基于 DSP 的嵌入式指纹识别样机中, 在算法速度上有明显的优势, 具有很强的实用价值。

表 1 算法速度比较

Tab 1 Comparison of the speed of algorithms

算法比较	方向估计及修正平均时间
文献 [4] 的方法	121ms
改进后的方法	33ms

(下转第 54 页)

一般采用主控回路的采样周期 $T_{\text{主}}$ 与副控回路的采样周期 $T_{\text{副}}$ 相等的办法进行控制. 如果采用主控回路的采样周期 $T_{\text{主}}$ 与副控回路的采样周期 $T_{\text{副}}$ 不等进行控制时, 为了避免主控回路和副控回路之间发生相互干扰和共振, 应使 $T_{\text{主}}$ 与 $T_{\text{副}}$ 之间相差 3 倍以上^[3].

3 结束语

该系统有效地解决了对象等效纯滞后时间很长的问题, 能及时检测到系统中可能引起被控制量发生变化的许多因素并加以控制. 实践表明, 串级控制技术是改善自动控制系统调节品质的有效方法之一. 精馏塔提馏段温度控制问题是一个典型的时间大滞后问题, 微分先行串级控制技术应用, 有效地抑制惯性、延迟性的影响, 并且鲁棒性强的特点, 改善了控制系统的调节品质. 该系统把主要的扰动包含在副控回路中, 通过副控回路的调节作用, 在扰动影响到主控回路被调参数之前, 大大地削弱了扰动作用的影响. 副控回路中包含了积分环节减少了相角滞后, 从而改善了系统的动态品质. 该系统还采用了一个测量中间变量 α 作为副控回路的被调参数. 这种控制方法在热处理, 化工, 机械加工, 金属冶炼等行业中也具有广泛的用途和推广价值.

参考文献:

- [1] 刘长龄. 精馏塔现场总线控制系统的实现[J]. 自动化仪表, 2000, 22(8): 39~41.
- [2] 孟华. 工业过程检测与控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000 168~175, 220~226.
- [3] 李正军. 计算机测控系统的设计与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004 316~320, 343.
- [4] 黄胜. 改进型史密斯(Smith)预估器在过热汽温度控制中的应用[J]. 自动化仪表, 2003, 24(1): 42~45.
- [5] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001 103~117.
- [6] 张玉明. 计算机控制系统与设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000 270~278.

(上接第 50 页)

参考文献:

- [1] Amit Y, Geman D. A Computational Model for Visual Selection[J]. Neural Comp, 1999, 11(1): 691~1715.
- [2] Campbell Jr J. Speaker Recognition: A Tutorial[J]. Proceeding of IEEE, 1997, 85(8): 1437~1462.
- [3] Jain A K, Hong L, Bolle R. On-line Fingerprint Verification. IEEE Trans[J]. Pattern Analysis Machine Intelligent 1997, 19(4): 302~314.
- [4] Hong L, Wan Y, Jain A. Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation[J]. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell 1998, 20(8): 777~789.
- [5] Goman L Q, Nkenson J V. An Approach to Fingerprint Filter Design[J]. Pattern Recognition, 2000, 22(1): 29~38.
- [6] Kau K, Jain A. Fingerprint classification[J]. Pattern Recognit, 1996, 29(3): 389~404.
- [7] Wang S, Zhang W W, Wang Y S. Fingerprint classification by directional fields[M]. In Proc 4th IEEE Int Conf Multimodal Interface, Pittsburgh PA, 2002. 395~398.
- [8] 王玮, 李见为, 张腾. 指纹图像的预处理算法[J]. 计算机应用, 2004, 24(5): 72~75.
- [9] 林国清, 李见为, 王崇文. 指纹图像预处理方法的研究[J]. 光电工程, 2002, 29(6): 56~58.